

NITRIDE SEMICONDUCTOR

Patent number: JP2001148477

Publication date: 2001-05-29

Inventor: MAKIMOTO TOSHIKI; KUMAKURA KAZUHIDE;
KOBAYASHI NAOKI

Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP

Classification:

- international: H01L29/12; H01L21/28; H01L21/3065; H01L29/205;
H01L21/331; H01L29/73; H01L33/00; H01S5/323

- european:

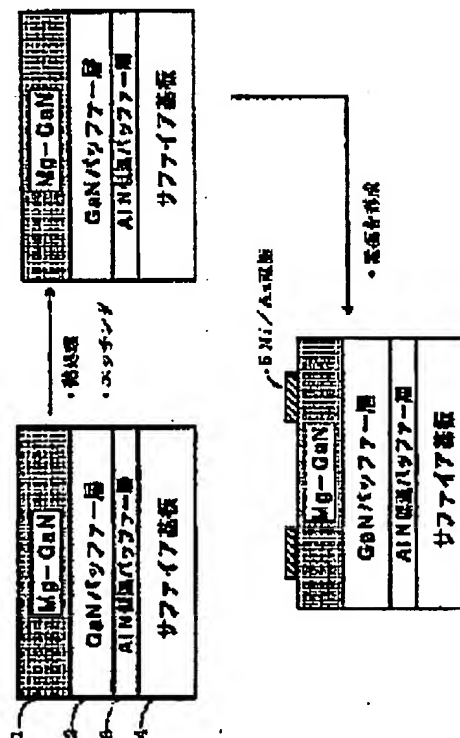
Application number: JP19990329238 19991119

Priority number(s):

Abstract of JP2001148477

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent satisfactory ohmic contact between a p-type nitride semiconductor and metal even if a defect occurs on the surface of the p-type nitride semiconductor worked by using a dry etching method and metal is deposited.

SOLUTION: A sample, where an AlN low temperature buffer layer 3 is installed on a sapphire substrate 4, a GaN buffer layer 2 is installed on the AlN lower temperature buffer layer 3, and an Mg-GaN layer 1 which is 700 nm in thickness is installed on the GaN buffer layer 2, is heat-treated in a nitride atmosphere, and the upper face of the Mg-GaN layer 1 is etched by about 200 nm. Two Ni/Au electrodes 5 by electronic beam evaporation are installed on an etched face. It is learnt that current easily flows and an ohmic characteristic is remarkably improved from a current-voltage measurement result between the two electrodes. It is obtained by doping the In atoms of $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ in the Mg-GaN layer 1.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

【引用発明1 日本공개특허공보 평13-148477호(2001.05.29) 1부.】

(15) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-148477

(P2001-148477A)

(43) 公開日 平成13年5月29日(2001.5.29)

(51) Int. Cl. ⁷	登録記号	F 1	特許番号(参考)
H01L 29/12		H01L 21/28	A 4M104
21/28			301H 5F003
	301	29/205	5F004
21/3005		33/00	C 5F041
29/205		H01S 5/323	5F079
審査請求 未請求 特許項の数4 OL (全9項) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平11-329238
 (22) 出願日 平成11年11月19日(1999.11.19)

(71) 出願人 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大塚三丁目3番1号
 (72) 発明者 佐本 俊樹
 東京都千代田区大塚三丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (72) 発明者 熊倉 一英
 東京都千代田区大塚三丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (74) 代理人 100081259
 弁護士 高山 道夫 (外1名)

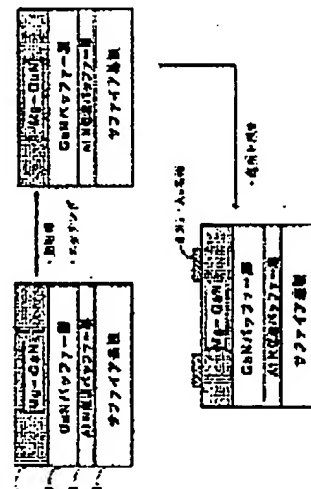
最終頁に続く

(34) 【発明の名称】 窒化物半導体

(37) 【要約】

【課題】 ドライエッチング法を用いて加工したp型の窒化物半導体の表面に欠陥が発生し、金属を腐食しても、p型の窒化物半導体と金属の間には良好なオーミック性接触が形成されない。

【解決手段】 サファイア基板4上にAlN保護パッファ層3を設け、このAlN保護パッファ層3上にGa_{0.5}N_{0.5}パッファ層2を設け、このGa_{0.5}N_{0.5}パッファ層2上に厚さ700nmのSi_{0.5}Ge_{0.5}層1を設けたサンプルを産業雰囲気中で熱処理を行い、Ga_{0.5}N_{0.5}層1の上面を約200nmだけエッチングする。エッチングした面に電子ビーム露光による2つのNi/Au電極3を設ける。この2電極間の電圧-電流測定結果から電流が流れやすく、オーミック特性が大幅に改善されていることが分かる。これは上記の厚さ700nmのSi_{0.5}Ge_{0.5}層1に1×10¹⁹cm⁻³のIn原子をドーピングすることにより得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 反応性イオンエッチング法に代表されるドライエッチング法を用いて加工される窒化物半導体において、エッチングを行うことにより露出した表面近傍は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のIn原子が含まれている層であることを特徴とする窒化物半導体。

【請求項 2】 前記In原子が含まれている層の厚さは10nm（ナノメートル）以上であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【請求項 3】 前記In原子が含まれている層にはアクセプタもドーピングされており、伝導型がp型であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【請求項 4】 前記In原子が含まれている層にはn原子も含まれており、伝導型がn型であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の要する技術分野】 窒化物半導体をベースとした青色発光デバイスや高出力電子デバイス等を作製する加工プロセスには、ドライエッチング法が用いられる。本発明は、このドライエッチング法を用いて加工することによって露出した窒化物半導体に関する。

【0002】

【従来の技術】 まず、窒化物半導体にIn原子をドーピングした研究について紹介する。（例えば、C. K. Shu, J. O. H. C. Lin, W. R. Chen, and M. C. Lee, Appl. Phys. Lett. 79 (1998) 641, C. T. Foxon, S. E. Hooper, J. T. S. Chang, J. H. Orto, G. R. Am. B. Ya. Bar, R. V. Markulov, S. V. Movilov, and V. V. Fret'yakov, Semicond. Sci. Technol. 13 (1998) 1469, F. Widmann, B. Daudin, B. Feuillet, M. Pelicand, and J. L. Rouvier, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 2642, X. R. Shen, P. Ravall, P. Biblet, and Y. Aoyagi, Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) L411 など）。これらの文献によると、GaNなどの窒化物半導体に 10^{19} cm^{-3} 程度のIn原子をドーピングすることにより、

- ・フォトルミネッセンスの発光強度が増加したり、
- ・ドーピングしていないGaN層の電子移動度が増加する、

ことが報告されている。

【0003】 その原因として、In原子がGaN中で等電子トラップとして働くためにフォトルミネッセンス発光強度が強くなる、あるいは、成長中にIn原子が表面に存在することによって結晶性が改善する（In原子がサーファクタントとして働く：F. Widmann, B. Daudin, B. Feuillet, M. Pelicand, and J. L. Rouvier, Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 2642.）、ためと考えられている。しかしながら、これらの従来の報告では、成長した超晶合体に関するIn原子の効果に留まっている。従って、窒化物半導体をエッチングすることによって発生する欠陥に対して、超晶中のIn原子がどのような効果をもたらすが、については全く調べられていなかった。

【0004】 この窒化物半導体は、塩酸、硝酸、フッ酸などの酸でエッチングされないという性質を持つ。従って、窒化物半導体を加工して各種のデバイスを作製する際には、通常、反応性イオンエッチング（Reactive Ion Etching: RIE）法に代表されるドライエッチング法が用いられる。しかしながら、このドライエッチング法を用いて窒化物半導体を加工すると、エッチングした表面に欠陥が発生することが知られている。

【0005】 この欠陥は、窒素原子が不足した状態を生み出すので、電気を発生させる性質がある。このため、p型の窒化物半導体をエッチングした後金属を蒸着しても、p型の窒化物半導体と金属の間には良好なオーミック性接触が形成されない。

【0006】 図1は、AlGaIn/InNヘテロ接合バイポーラトランジスタ（Heterojunction Bipolar Transistor: HBT）を作製する際のプロセスの例を示す図である。

【0007】 まず、エミッタ層21部分をエッチングして除去し、p型GaIn層であるベース層22の表面を露出させる。その後、露出したp型GaInのベース層22の表面に金属を蒸着してベースコンタクトとしてのAl/In電極5を形成する。しかしながら、エッチングして露出させたp型GaIn層の表面には多数の欠陥が発生するために、露出したベース層22とAl/In電極5の間には良好なオーミック性接触が形成されない。

【0008】 例えば、p型GaIn中のIn原子濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度に高くしても、良好なオーミック性接触が形成されない。従って、ドライエッチングによって発生した欠陥密度は、Inアクセプタ濃度と同程度つまり、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると考えられる。

【0009】 ここで、露出したp型GaIn層と金属の間に良好なオーミック性接触を形成するために、次のような二つの工夫が施されている。

【0010】 一つ目は、結晶成長法である有機金属気相成長法（Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE）による選択成長を用いて、エッチングによって露出したp型GaInベース層の上に新たなp型GaIn層を形成する方法である。この新しく選択成長したp型GaIn層と金属の間に良好なオーミック性接触を形成することが出来る（L. S. McCarthy, P. Korodov, S. P. Denbarrs, M. Rodwell, and U. K. Mishra, 25th International Symposium on Compound Semiconductor, Hara, Japan, Oct. 1998.）。この方法では、選択成長を行わなければならないので、HBT作製プロセスが複雑になるという欠点がある。

【0011】 二つ目は、ドライエッチングを途中で停止し、欠陥の発生した層を酸化した後除去する方法である。つまり、ドライエッチングを行なう際に、p型GaInベース層の上の約10nmでエッチングを停止し、p型GaIn層を完全には露出させない。そして、この欠陥の多い表面をオゾンで酸化させる。この酸化物は塩酸などで除去することが可能であるので、欠陥の無いp型GaInを

面に金属を接触させることが出来る (F. Ben, C. R. Abernathy, J. M. Van Hove, P. P. Chow, R. Hickman, J. J. Kleason, R. F. Koepf, H. Cho, K. B. Jung, J. R. La Roche, R. E. Wilson, J. H. R. J. Shull, A. E. Booda, and S. J. Pearton, *MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.*, 3, 41 (1998)).

【0012】この方法では、p型GaNベース層の上の約10nmでエッチングを停止する必要があるために、複雑なエッチング制御が必要となる。さらに、オゾンによる酸化プロセス、および、その酸化プロセスも必要であるので、RBE 作製プロセスが複雑になるという欠点がある。

【0013】また、AlGaIn層をエッチングした場合にも、エッチングによる欠陥が発生する。ドーピングを行っていないAlGaIn層は高抵抗である。のに対して、AlGaIn層をエッチングすると、エッチングした表面付近はn型の伝導を示す。このような欠陥はトランジスタでは漏れ(リーク)電流となって現れるため、トランジスタの特性を劣化させる。従って、欠陥の密度を少なくする、あるいは、少なくとも、欠陥が生じて表面にn型伝導層が形成されないような工夫が望まれるのである。

【0014】【発明が解決しようとする課題】すなわち、従来は、エッチングして露出した表面付近ではエッチングにより除去された欠陥の密度が高いために、p型化合物半導体では良好なオーミック性接触が得られなかったり、抵抗の高いAl原子を含む化合物半導体では流れ電流が大きい、という問題があった。更に、露出したp型GaIn層と金属の間に良好なオーミック性接触を形成するための工程は、作製プロセスが複雑になる、という問題があった。

【0015】本発明はこのような点に鑑みてなされたものである。本発明の目的は、複雑でない作製プロセスで、エッチングをしても欠陥密度の少ない、あるいは、欠陥による電氣的影響の少ない化合物半導体を提供することにある。

【0016】【課題を解決するための手段】本発明は、エッチングを行うことにより露出した化合物半導体表面の近傍にIn原子が含まれていることを最も主要な特徴とする。従来の技術とは、化合物半導体へIn原子をドーピングするとエッチングによって発生した欠陥の影響が少なくなるという新たな効果を見出した点、および、p型の化合物層に対してはデバイス作製プロセスを簡略化させるため、あるいは、Al原子を含む化合物層に対しては流れ電流を抑制するために、エッチングして露出させた化合物半導体の表面近傍にIn原子が含まれている点、が異なる。

【0017】エッチングして露出したp型GaIn層にIn原子がドーピングされていると、エッチングにより除去される欠陥の密度、あるいは、欠陥による電氣的影響が少なくなる。このため、エッチングして露出したp型化合物半導体と金属の間に良好なオーミック性接触を形成するこ

とが出来るようになる。また、エッチングして露出したAlGaIn層にIn原子がドーピングされていると、エッチングにより除去される欠陥の密度、あるいは、欠陥による電氣的影響が少なくなる。このため、エッチングして露出したAlGaIn層の表面にはn型伝導層が形成されないで、流れ電流の少ない高抵抗のAlGaIn層を形成出来るようになる。

【0018】

【発明の実施の形態】上記課題を解決するために本発明の化合物半導体は、反応性イオンエッチング法に代表されるドライエッチング法を用いて加工される化合物半導体において、エッチングを行うことにより露出した表面近傍は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のIn原子が含まれている層であることに特徴を有している。また、本発明の化合物半導体は、前記In原子が含まれている層の厚さは10nm以上であることに特徴を有している。更に、本発明の化合物半導体は、前記In原子が含まれている層にはアクセプタもドーピングされており、伝導型がp型であることに特徴を有している。また、本発明の化合物半導体は、前記In原子が含まれている層にはAl原子も含まれており、抵抗が高い層であることに特徴を有している。

【0019】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面に基いて説明する。

【実施例1】図1は、本実施例のサンプルの構造および実験プロセスを示す図である。層 1は2層のサンプルは有機金属気相成長法によって成長させた。サブレイア層4上に厚さ20nmのAlN低抵抗バッファ層5を設け、このAlN低抵抗バッファ層5上に厚さ1100nmのGaInバッファ層6を設け、このGaInバッファ層6上に厚さ700nmのMg-GaN層7を設けたものである。一つのMg-GaN層7は、本発明によるドライエッチングを用いて加工するのに関連した化合物半導体であり、他のMg-GaN層7は従来例における化合物半導体である。

【0020】Mg-GaN層7の結晶中の電離子電荷性化してアクセプタとするために、成長後に窒素雰囲気において700℃で10分間の熱処理を行った。また、全てのサンプルに対してMg原子濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と一定にしているので、アクセプタとなるMg原子の濃度(アクセプタ濃度)は一定であり、このアクセプタ濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度であると考えられる。

【0021】本発明によるドライエッチングを用いて加工するのに関連した化合物半導体であるIn原子を含んだp型GaIn中のIn濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。この値は、オージェ分析およびIn濃度の成長速度依存性から求めた。ここで、室温(摂氏25℃)におけるホール測定によって、エッチングを行う前のp型GaInのキャリア濃度、および、移動度を求めた。In原子を含ませないMgドープGaIn層の正孔キャリア濃度および移動度は、それと

れ、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ および $9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。これに対して、In原子を含んだ p^+ 型GaN層の正孔キャリア濃度および移動度は、それぞれ、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ および $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。正孔濃度は変化していないが、ドーパしたIn原子が活性セクターとなるために移動度が減少している。従って、エッチングを行う前は、 p^+ 型GaNへIn原子をドーピングすることにより、電気的特性が劣化している。

【0022】成長したサンプルを窒素雰囲気中で熱処理を行った後、厚さ約 700 nm の $\text{Hg}-\text{GaN}$ 層1（本発明によるドライエッチングを用いて加工するに適合した変性半導体であるIn原子を含んだ p^+ 型GaN、および、従来の例における変性半導体である p^+ 型GaN）をドライエッチング法を用いて約 200 nm だけエッチングする。エッチングはRIE法を用いて行ない、マイクロ波出力は 50 W 、引き出し電圧は 500 V 、コイル電流は 1.8 A である。

【0023】このエッチングによる欠陥の影響をI-V（電流-電圧）特性で調べるために、エッチングを行うことにより露出した表面に2つのドット状のNi/Au電極5を電子ビーム露光を用いて形成した。NiおよびAuの膜厚は、それぞれ、 40 nm および 100 nm である。Ni/Au電極5の直径は 0.5 mm であり、2つのNi/Au電極5間の距離は 4 mm である。

【0024】図2(a)、(b)は、エッチングした $\text{Hg}-\text{GaN}$ 層1（In原子を含んだ p^+ 型GaN、および、 p^+ 型GaN）の表面に露出した2つのNi/Au電極5間のI-V特性を示す。横軸は電圧を1[V]刻みで示しており、縦軸は電流を 0.1 pA 刻みで示している。グラフの中央が原点である。

【0025】エッチングを行った後では、(b)に示すI-V特性がわかるように、In原子を含まない p^+ 型GaNでは電圧を高くしても電流は流れにくく、オーム性接触が得られない。この現象は、従来の報告と同じである。オーム性特性が得られないために、ホール測定を行ってキャリア濃度や移動度を測定することができなかった。これに対して、(a)に示すように、 p^+ 型GaNに $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のIn原子をドーピングすることにより、電流が流れやすくなり、オーム性特性が大幅に改善されている。

【0026】このことは、図2で示した2つのサンプルでは、エッチングにより露出された欠陥濃度が異なる。あるいは、欠陥による電気的影響が異なることを示している。「In原子を含まないGaNで良好なオーム性接触が得られなかった。」ということは、「In原子を含まないGaNでは、表面近傍における欠陥濃度はアクセプタ濃度と同程度、あるいは、それ以上である。つまり、エッチングによって発生した欠陥濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。」ということを示している。さらに、欠陥が無の場合の表面からの空乏層領域の厚さは、以下の式で表

される。

$$(\text{厚さ}) = (2 \cdot e \cdot V / (q \cdot N))^{1/2}$$

ここで、 e は電気素量（ 1.6×10^{-19} クーロン）、 N はGaNの陽電荷（ 9×10^{18} 、 8.5×10^{18} フアラッド/センチメートル）、 N はアクセプタ濃度（ 1×10^{19} 価/立方センチメートル）、 V は金属とGaN面の障壁の高さ（1V程度）である。この関係から、現在の状態では 100 nm である。エッチングを行った場合には、この厚さ以上の領域に欠陥が存在していると考えられている。

【0027】エッチングによって発生した欠陥によって表面近傍のアクセプタが補償された（アクセプタの放出する正孔キャリアが欠陥にトラップされた）、あるいは、欠陥によってアクセプタが正孔キャリアを放出することができなくなったと考えられる。このため、エッチングによって露出した表面は高抵抗となり、オーム性特性が得られなくなったのである。これに対して、In原子を含むGaNに対するI-V特性は、露出した表面には正孔キャリアが存在しており、表面近傍における欠陥濃度が減少している。あるいは、欠陥が存在しても電気的影響を及ぼさない。」ことを示している。

【0028】（実施例2）次に、 $\text{Hg}-\text{GaN}$ 層1中のIn組成を増加させて同様の実験を行った。 $\text{Hg}-\text{GaN}$ 層1中のIn濃度は、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ から $8 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ まで変化させた。ここでは、X線分光法を用いてIn原子の組成を測定して、 10 nm 中にIn原子が $4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ 個あると仮定してIn原子の濃度を算出した。これらは、3%から20%In原子を含むInGaN層に相当している。この実験でも、 Hg 原子濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と一定としており、アクセプタ濃度は約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。そして、このアクセプタ濃度は、In組成を変化させても変化しないと考えられる。

【0029】図3は、In組成の異なる p^+ 型InGaNをエッチングした表面にNi/Au電極5を露出した場合のI-V特性を示す。図において、(a)はIn組成が3%、(b)はIn組成が5%、(c)はIn組成が10%、(d)はIn組成が20%である。図3において、In組成が変化することによってI-V特性の傾きが急になっている。つまり、抵抗が低くなっている理由を次に示す。 p^+ 型GaNの正孔キャリア濃度は、室温（摂氏27℃）において、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。これに対して、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 以上のIn原子を含む p^+ 型GaN、つまり、In組成が3%以上の p^+ 型InGaNでは、正孔キャリア濃度が上昇することが明らかになっている。これは、In原子濃度と共にGaN中の Hg アクセプタのエネルギーが減少するために、室温における正孔キャリア濃度が増加するためである。

【0030】この正孔濃度は、活性化エネルギー（E）と測定温度（T）を用いると、

$$(\text{正孔濃度}) = e \cdot e \cdot p \cdot (-qE/kT)$$

で表される。ここで、 e は比例定数であり、アクセプタ

温度に比例すると考えて良い。また、 ϕ は有効仕事

(1. 8×10^{-19} クロトン)、 k はボルツマン定数
(1. 38×10^{-23} ジョーグル/ケルビン)である。例
えば、 GaN の活性化エネルギーは $E = 1.70 \text{ meV}$ である
ので、 $T = 290 \text{ K}$ (室温)で、定数)では上記の
式の値は0.0013とされる。これに対して、3%の
 In 原子を含む InGaIn では活性化エネルギーが $E = 1.00$
 meV 未満になるので、式から正孔濃度は0.019
とされる。従って、室温における正孔濃度は、 GaIn 中よ
りも InGaIn 中の方が1.3倍高くなる。ここで、アクセプ
タ濃度は同一であることから、 ϕ の値は等しくなるの
で、 ρ 型 InGaIn での抵抗が低くなるのである。

【0031】ここで、実施例1で示した ρ 型 GaIn をエッ
チングした実験から、「 GaIn をエッチングすることによ
って生じる表面欠陥における欠陥濃度は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
以上である。」ことが明らかになっている。もし、 ρ
型 InGaIn でも $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上の欠陥が発生してい
れば、表面付近には正孔キャリアが存在しなくなる(上
の式で、 $\phi = 0$ を代入した場合に相当する)ので、オー
ミック特性が得られないはずである。

【0032】しかしながら、実際には、図3で示したよ
うにオーミック特性が得られている。従って、エッチン
グした後でも ρ 型 InGaIn 表面には正孔キャリアが存在し
ていることを示している。つまり、実施例2の実験結果
は、「 ρ 型 InGaIn 表面近傍における欠陥濃度が ρ 型 GaIn
の場合に比べて減少している。あるいは、欠陥が存在し
ても電気的障害を及ぼさない。」ことを示しているの
である。このように、 ρ 型 InGaIn をエッチングした後でも
オーミック特性が得られているのは、室温におけるキャ
リア濃度が高いだけではなく、 In 原子が含まれているこ
とにより「欠陥濃度が減少している。あるいは、欠陥が
存在しても電気的障害を及ぼさない。」ためである。

【0033】以上のような効果は、少なくとも、 In 原子
濃度が $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上の場合に観測された。ま
た、 InAlGaIn 、 InBbGaIn などのような4種類以上の原子
から構成される空位化合物半導体に関しても同様な効果が期
待できる。

【0034】(実施例3) 有機金属気相成長法によって
成長した AlGaIn の表面をRIE法によりエッチングを行
った。実施例1で示した条件と同様に、エッチング時の
マイクロ波出力は50W、引き出し電圧は500V、コ
イル電流は10Aである。このエッチングによる欠陥の
影響を調べるために、電子ビーム照度法によって2つの
ドット状の Al/AlGaIn 電極を電着して Al/AlGaIn 電極間のI
-V特性を測定した。 Al および AlGaIn の厚さは、それぞれ
70nmおよび100nmである。 Al/AlGaIn 電極間の直径
は500nmであり、2つの Al/AlGaIn 電極間の距離は4
mmである。成長した AlGaIn 層の厚さは1000nmで
あり、 Al 組成は3%から43%まで変化させた。エッ
チングして削った厚さは200nmである。

【0035】図4は、 Al 組成は3%である AlGaIn 層のエ
ッチング前後のエッチング後のI-V特性の一例を示す。

(a)は、 In 原子をドーピングしていない場合のエッ
チング後は電流が流れず、 AlGaIn 層は高抵抗であること
を示している。これに対して、(b)は、 In 原子をドーピ
ングしていない場合のエッチング後は電流が流れるよう
になり、オーミック特性を示すようになる。エッチング
によって AlGaIn 層の表面に欠陥が発生したために、この
欠陥が放出したキャリアによって電流が生じたものと考
えられる。

【0036】次に、 Al 原子を5%含む AlGaIn 層に 1×1
 0^{13} cm^{-2} の In 原子をドーピングして同様な実験をおこ
なした。エッチング前は、 AlGaIn/In 原子をドーピング
しても、 AlGaIn 層は高抵抗であった。エッチングした後
のI-V特性を(a)に示す。エッチング前のI-V特
性と同様に、電流が流れず、エッチング前の高抵抗の性
質を維持していることが明らかとなった。この効果は、
少なくとも、 In 原子濃度が $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上の場
合に観測された。また、 Al 組成に関しても、少なくとも、
3%以上の AlGaIn で観測された。

【0037】(実施例4) 図5は、高抵抗のアンダー
 AlGaIn 層を2つのSI- AlGaIn 層で挟んだ構造を示し
ている。図で示したように、SI- AlGaIn 層(1) 11および
アンダー- AlGaIn 層12をエッチングしてSI- AlGaIn
層(2) 13を露出させ、SI- AlGaIn 層(1) 11とSI- AlGaIn
層(2) 13の表面に Al/AlGaIn 電極を形成した。この
場合では、アンダー- AlGaIn 層12の位置にエッチン
グによる欠陥が存在するので、SI- AlGaIn 層(1) 11とSI-
 AlGaIn 層(2) 13の表面に形成した Al/AlGaIn 電極の
間には流れ電流が存在することになる。

【0038】しかしながら、アンダー- AlGaIn 層12を
インド- AlGaIn 層14に置きかえることにより、インド-
 AlGaIn 層14の位置には欠陥層が存在しなくなるの
で、SI- AlGaIn 層(1) 11とSI- AlGaIn 層(2) 13の表
面に形成した Al/AlGaIn 電極の間には流れ電流がなくな
る。このように、エッチングして露出した AlGaIn 層の位
置に好ましく、 In 原子をドーピングしていることによ
り、流れ電流が無く、高抵抗化を行うことができる。

【0039】(実施例5) 本発明をヘテロ接合バイポー
ラトランジスタ(HBT)へ応用した実施例について述
べる。まず、前述の図7のHBTの縦断面図を以て、 $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$ で構成されるHBTを作製した。すな
わち、

エミッタ層21、ベース層22、コレクタ層23から
なるHBT構造の積層を成長させる。

このHBT構造の積層を窒素雰囲気での熱処理(70
0℃、10分間)を行う。

エミッタ層21をエッチングして除去し、ベース層2
2の表面を露出させる。

ベース層22をエッチングして除去し、コレクタ層2

3の表面を露出させる。

露出したベース層22の表面に金属を堆積してベースコンタクトとしてのNi/Au電極5を形成する。エミッタ層21の表面および露出したコレクタ層23の表面に金属を堆積して、エミッタコンタクトおよびコレクタコンタクトとしてのAl/Au電極6を形成する。

【0040】図5は、前述の図7のHBT作製プロセスによって作製したHBTの層構造を示す図である。図において、サブファイア基板24上に絶縁AINパッド層25（厚さ20nm：高抵抗）、GaNバッファ層26（厚さ100nm：高抵抗）を設け、その上にn型コレクタ電極層23b（Si-GaN：厚さ100nm：電子濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型コレクタ層23a（Si-GaN：厚さ50nm：電子濃度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるコレクタ層23を設け、その上にp型ベース層22（Mg-GaN：厚さ150nm：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）、p型ベース層22a（Mg-In-GaN：厚さ50nm：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるベース層22を設け、その上にn型エミッタ層21b（Si-AlGaInN：厚さ100nm：電子濃度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）、n型エミッタ電極層21a（Si-GaN：厚さ100nm：電子濃度 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ）からなるエミッタ層21が設けられている。さらに、n型コレクタ電極層23bの表面にはAl/Au電極6、p型ベース層22aの表面にはNi/Au電極5が設けられている。

【0041】ベース層22にはアクセプタとなるIn原子がドーピングされている。さらに、エッチングプロセスによる欠陥の影響を抑えるために、ベース層には $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のIn原子も一様にドーピングされている。ただし、実施例1で述べたように、In原子はベース中で散乱センターとなるために、正孔キャリアの移動度が減少する。このため、少数キャリアである電子に対しても移動度も低下する可能性がある。

【0042】従って、厚さ200nmのベース層22の中で、エッチングをして表面を露出する部分、つまり、Ni/Au電極5とのコンタクトを取る表面にIn原子がドーピングされている構造としている。言い換えれば、200nmのベース層22全体にIn原子をドーピングするのではなく、ベース層22の表面側の50nmだけにIn原子をドーピングしてp型ベース層22a（Mg-In-GaN：正孔濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ）を形成している。作製したHBTのベース領域でのオーム性特性は良好であった。

【0043】さらに、室温における電流利得は20が得られており、従来報告されていた電流利得（約3）よりも大きな値が得られている。また、比較サンプルとして、In原子を一様にドーピングした構造も作製した。この構造でも良好なオーム性特性が得られたが、電流利得が10であった。In原子をドーピングした層の厚さを50nmと狭くした場合に比べて、In原子を一様にドー

ピングした場合は、In原子によって電子が散乱を受け、このため、ベース中の少数キャリアである電子の寿命が短くなり、In原子を一様にドーピングした場合には電流利得が小さくなったと考えられる。

【0044】

【発明の効用】以上説明したように、In原子を含むn型の窒化物半導体の表面でエッチングを終了して、このエッチングによって露出した表面に金属を接触させた場合には、良好なオーム性接触が形成できるという利点がある。また、Al原子を含む窒化物半導体へIn原子をドーピングした場合には、このAl原子を含む窒化物半導体をエッチングしても、リーク電流が無く、高抵抗を維持できるという利点がある。そして、In原子を、少なくとも、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含む場合に上記の効果が現れる。

図面の簡単な説明

【図1】本発明の一実施例における窒化物半導体のサンプルの構造および作製プロセスを示す図である。

【図2】エッチング後のp型GaNのI-V特性を示す図であり、(a)はIn原子とIn原子をドーピングしたp型GaNであり、(b)はIn原子だけをドーピングしたp型GaNである。

【図3】エッチング後のp型GaNのI-V特性を示す図であり、(a)はIn組成=3%、(b)はIn組成=5%、(c)はIn組成=10%、(d)はIn組成=20%とした場合である。

【図4】エッチング前後のAlGaIn層に対するI-V特性を示す図であり、(a)はアンドープAlGaIn層に対するエッチング前、(b)はアンドープAlGaIn層に対するエッチング後、(c)はInドーパAlGaIn層に対するエッチング後である。

【図5】AlGaIn層が側方向に露出した場合の構造を示す図である。

【図6】AlGaIn/GaNで構成されるHBTの層構造を示す図である。

【図7】HBT作製プロセスの制を示す図である。

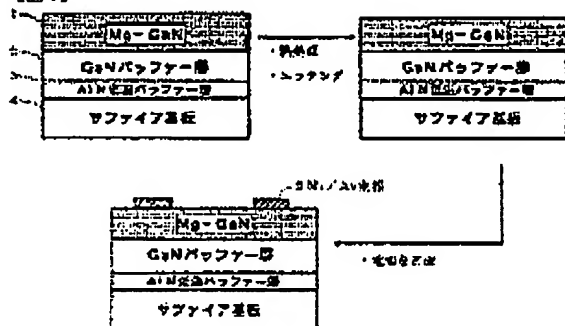
【符号の説明】

- 1 Mg-GaN層
- 2 GaNバッファ層
- 3 AlN高抵抗パッド層
- 4 サブファイア基板
- 5 Ni/Au電極
- 6 Al/Au電極
- 11 Si-AlGaIn層(1)
- 12 アンドープAlGaIn層
- 13 Si-AlGaIn層(2)
- 14 InドーパAlGaIn層
- 21 エミッタ層
- 21a n型エミッタ電極層
- 21b n型エミッタ層
- 22 ベース層

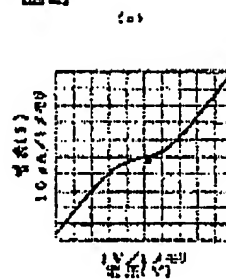
22a p型ベース層①
22b p型ベース層②
23 コレクタ層
24 n型コレクタ層

23b n型コレクタ電圧層
24 サファイア基板
25 GaNバッファ層
26 低導電GaNバッファ層

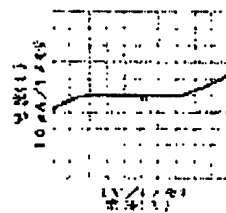
【図1】



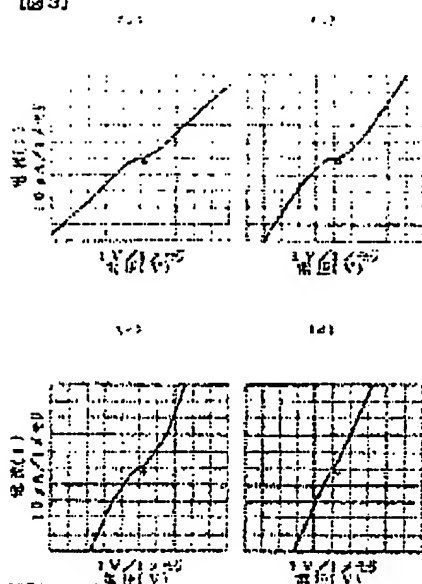
【図2】



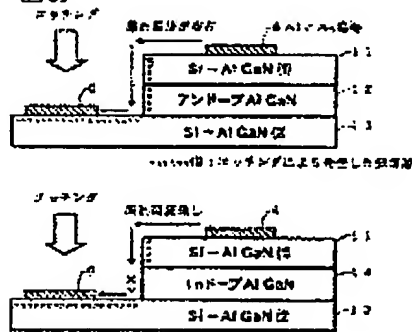
(a)



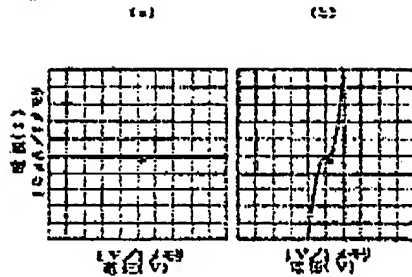
【図3】



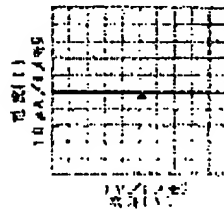
【図5】



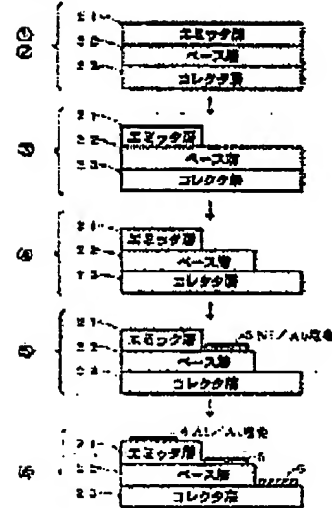
【図4】



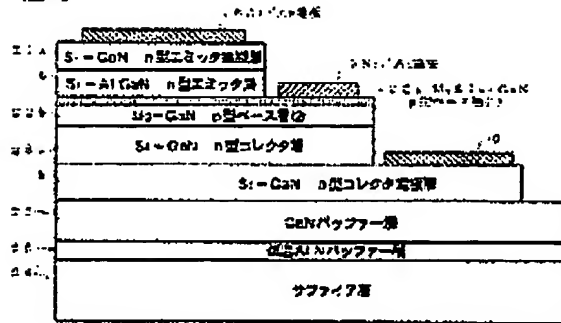
(c)



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.7

国際記号

F 4

テーマコード (符号)

H 0 1 L 21/391

H 0 1 L 23/14

N

25/72

21/302

33/00

23/72

H 0 1 S 5/323

(72)発明者 小村 直樹

東京都千代田区大手町二丁目1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム (符号) 4M104 A104 B002 B005 C001 D022

D025 D035 F118 G001 H015

5F003 A004 B002 B004 B009

B004 B030 B009 B008 B009

B003 B012 B023 B032

5F004 A018 B014 B018 B028 C002

5F041 A021 C034 C040 C045

5F072 C007 C005 D005 D024 H010

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.